

(19) 世界知的所有権機関  
国際事務局(43) 国際公開日  
2005 年 9 月 9 日 (09.09.2005)

PCT

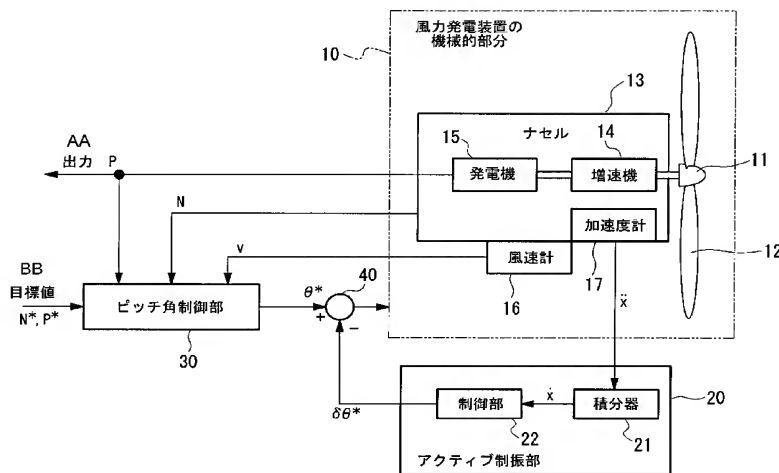
(10) 国際公開番号  
WO 2005/083266 A1

- (51) 国際特許分類: F03D 7/04 (71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 三菱重工業株式会社 (MITSUBISHI HEAVY INDUSTRIES, LTD.) [JP/JP]; 〒1088215 東京都港区港南二丁目 1 6 番 5 号 Tokyo (JP).
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2004/016851
- (22) 国際出願日: 2004 年 11 月 12 日 (12.11.2004) (72) 発明者; および
- (25) 国際出願の言語: 日本語 (75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 若狭 強志 (WAKASA, Tsuyoshi) [JP/JP]; 〒8510392 長崎県長崎市深堀町五丁目 7 1 7 番 1 号 三菱重工業株式会社 長崎研究所内 Nagasaki (JP). 井手 和成 (IDE, Kazunari) [JP/JP]; 〒8510392 長崎県長崎市深堀町五丁目 7 1 7 番 1 号 三菱重工業株式会社 長崎研究所内 Nagasaki (JP). 林 義之 (HAYASHI, Yoshiyuki) [JP/JP];
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ: 特願2004-055515 2004 年 2 月 27 日 (27.02.2004) JP

[続葉有]

(54) Title: WIND TURBINE GENERATOR, ACTIVE VIBRATION DAMPING METHOD FOR THE SAME, AND WIND TURBINE TOWER

(54) 発明の名称: 風力発電装置およびそのアクティブ制振方法並びに風車タワー



AA... OUTPUT  
BB... TARGET VALUE  
10... MECHANICAL SECTION OF WIND TURBINE GENERATOR  
13... NACELLE  
14... SPEED UP GEARS  
15... GENERATOR  
16... WIND SPEED INDICATOR  
17... ACCELEROMETER  
20... ACTIVE VIBRATION DAMPING SECTION  
21... INTEGRATOR  
22... CONTROL SECTION  
30... PITCH ANGLE CONTROL SECTION

(57) Abstract: A wing turbine generator, an active vibration damping method for the generator, and a wind turbine tower, where the reduction in vibration of the wind turbine generator and the wind turbine tower can be achieved at a low cost. Acceleration of vibration of a nacelle (13) is measured by an accelerometer (17) fixed to the nacelle (13). Based on the acceleration measured, an active vibration damping section (20) calculates a wind turbine blade (12) pitch angle that causes the wind turbine blade (12) to produce thrust to cancel vibration of the nacelle (13), and outputs the result as a damping blade pitch angle command  $\delta \theta^*$ . On the other hand, a pitch angle control section (30) calculates a wind turbine blade (12) pitch angle for setting the output to a specific value and outputs the result as a blade pitch angle command  $\theta^*$  for output control. A subtractor (40) superposes the vibration damping blade pitch angle command  $\delta \theta^*$  on the output controlling blade pitch angle command  $\theta^*$  and controls the pitch angle of the wind turbine blade based on a superposed blade pitch angle command.

(57) 要約: 低コストで風力発電装置または風車タワーの振動低減を図り得る風力発電装置およびそのアクティブ制振方法並びに風車タワーを提供することを目的とする。ナセル (13) に取り付けられた加速度計 (17) により該ナセル (13) の振動の加速度を検出し、アクティブ制振部 (20) において、該加速度に基づき、ナセル (13) の振動を打ち消すように風車ブレード (12) にスラスト力を発生させるための該風車ブレード (12) のピッチ角を算出し、これを制振用翼ピッチ角指令  $\delta \theta^*$  として出力する一方、ピッチ角

[続葉有]

WO 2005/083266 A1



〒8510392 長崎県長崎市深堀町五丁目 7 1 7 番 1 号  
三菱重工業株式会社 長崎研究所内 Nagasaki (JP). 柴  
田 昌明 (SHIBATA, Masaaki) [JP/JP]; 〒8508610 長崎  
県長崎市飽の浦町 1 番 1 号 三菱重工業株式会社 長  
崎造船所内 Nagasaki (JP).

(74) 代理人: 藤田 考晴, 外(FUJITA, Takaharu et al.); 〒  
2200012 神奈川県横浜市西区みなとみらい 3-3-1  
三菱重工横浜ビル 2 4 F Kanagawa (JP).

(81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が  
可能): AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR,  
BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM,  
DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU,  
ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS,  
LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NA,  
NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE,

SG, SK, SL, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US,  
UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW.

(84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可  
能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD,  
SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY,  
KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AT, BE, BG,  
CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE,  
IS, IT, LU, MC, NL, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI  
(BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE,  
SN, TD, TG).

添付公開書類:

— 国際調査報告書

2 文字コード及び他の略語については、定期発行される  
各 PCT ガゼットの巻頭に掲載されている「コードと略語  
のガイダンスノート」を参照。

制御部 (30) において、出力を所定値にするための風車ブレード (12) のピッチ角を算出してこれを出力制御  
用翼ピッチ角指令  $\theta^*$  として出力し、減算器 (40) により出力制御用翼ピッチ角指令  $\theta^*$  に制振用翼ピッチ角指  
令  $\delta \theta^*$  を重畳させて、該重畳後の翼ピッチ角指令に基づき風車ブレードのピッチ角を制御する。

## 明 細 書

### 風力発電装置およびそのアクティブ制振方法並びに風車タワー 技術分野

[0001] 本発明は、風速の変動により誘起される振動を抑制可能な風力発電装置およびそのアクティブ制振方法並びに風車タワーに関し、特に、ナセル重量の増大を伴うことなく低コストで風力発電装置または風車タワーの振動低減を図り得る風力発電装置およびそのアクティブ制振方法並びに風車タワーに関するものである。

### 背景技術

[0002] 風力発電装置は、一般的に高さ数十[m]の円筒状タワーの上部に、翼、増速器および発電機などの重量物が設置される構造となっており、風速の変動により誘起される振動が極めて大きい。このような振動は、構造材の疲労荷重を増大させ、風車タワーの寿命を縮めることとなる。

近年、風力発電装置は大型化の傾向にあり、装置の大型化につれて、風速変動により誘起される振動の影響はますます顕著になり、風力発電装置または風車タワーにおける振動の低減は必須の技術課題となっている。

他方、ビルなどの高層建築物では、強風時の居住性を改善するためにアクティブ制振技術が実用化されている。種々の方式が提案されているが、AMD (Active Mass Damper) に代表されるように、構造物上部に設置した重量物 (mass) をモータなどのアクチュエータで駆動し、構造物本体の振動を吸収する方式が殆どである。

[0003] しかしながら、上記高層建造物などで実用化されているアクティブ制振技術 (AMD) を、風車発電装置または風車タワーにそのまま適用しようとすると、以下のような問題が生じる。

第1に、十分な制振効果を得るためには、相当の重量物 (mass) が必要であり、また同時に、この相当の重量物を駆動するためには、大容量のアクチュエータを用意しなければならない。このため、ナセル重量が大幅に増加してしまう。

第2に、風車タワーの上部に位置するナセル重量が増加する分だけ、そのナセルを支える風車タワーの強度を増やさなければならない。このような風車タワーやその他

の構成要素の強度を大幅に増大させる必要性から、風力発電装置および風車タワーの全体のコストが増大してしまう。

第3に、重量物(mass)を駆動するアクチュエータが必要であり、駆動箇所が増えてメンテナンスコストも増大する。

そこで、例えば、特開2001-221145号公報(特許文献1)には、上述したような課題に対して、パッシブ・アクティブ・ピッチ・フラップ機構を設けることにより、風車タワーの振動を抑制する技術が開示されている。

特許文献1:特開2001-221145号公報

#### 発明の開示

[0004] しかしながら、上記特許文献1の発明では、結局、機械的な機構により風車タワーの振動を低減させる手法を取っているため、従来のAMDとかわらず、ナセルの重量増大を招く。また、複数の構造体を有するため、ナセルが大型化し、また、コスト高になるという問題もあった。

[0005] 本発明は、上記問題を解決するためになされたもので、ナセル重量の増大を伴うことなく、低コストで振動を低減させることができる風力発電装置およびそのアクティブ制振方法並びに風車タワーを提供することを目的とする。

[0006] 上記課題を解決するために、本発明は以下の手段を採用する。

本発明は、翼ピッチ角指令に基づき風車ブレードのピッチ角を制御するピッチ角制御機構を備えた風力発電装置であって、ナセルに取り付けられ、該ナセルの振動の加速度を検出する加速度計と、前記加速度計により検出された加速度に基づき、前記ナセルの振動を打ち消すように前記風車ブレードにスラスト力を発生させるための該風車ブレードのピッチ角を算出して翼ピッチ角指令を前記ピッチ角制御機構に出力するアクティブ制振手段とを具備する風力発電装置を提供する。

[0007] 本発明によれば、ナセルに取り付けられた加速度計により該ナセルの振動の加速度を検出し、アクティブ制振手段において、該加速度に基づき、ナセルの振動を打ち消すように風車ブレードにスラスト力を発生させるための該風車ブレードのピッチ角を算出し、これを翼ピッチ角指令としてピッチ角制御機構に出力して、風車ブレードのピッチ角を制御する。この場合において、風車ブレードに作用する抗力はナセルの

前後方向にスラスト力として作用し、その大きさは風速と風車ブレードのピッチ角により変化することから、ピッチ角を所定の制御則に従って制御すれば、ナセル前後方向の振動をある程度制御することができる。

[0008] また、本発明は、翼ピッチ角指令に基づき風車ブレードのピッチ角を制御するピッチ角制御機構を備えた風力発電装置であって、ナセルに取り付けられ、該ナセルの振動の加速度を検出する加速度計と、前記加速度計により検出された加速度に基づき、前記ナセルの振動を打ち消すように前記風車ブレードにスラスト力を発生させるための該風車ブレードのピッチ角を算出して制振用翼ピッチ角指令を出力するアクティブ制振手段と、風速、風車ロータの回転数または当該風力発電装置の出力に基づき、当該風力発電装置の出力を所定値にするための前記風車ブレードのピッチ角を算出して出力制御用翼ピッチ角指令を出力するピッチ角制御手段と、前記ピッチ角制御手段からの出力制御用翼ピッチ角指令に前記アクティブ制振手段からの制振用翼ピッチ角指令を重畳させた翼ピッチ角指令を前記ピッチ角制御機構に与える加算手段とを具備する風力発電装置を提供する。

[0009] 本発明によれば、ナセルに取り付けられた加速度計により該ナセルの振動の加速度を検出し、アクティブ制振手段において、該加速度に基づき、ナセルの振動を打ち消すように風車ブレードにスラスト力を発生させるための該風車ブレードのピッチ角を算出して制振用翼ピッチ角指令として出力する一方、ピッチ角制御手段において、出力を所定値にするための風車ブレードのピッチ角を算出して出力制御用翼ピッチ角指令を出力し、加算手段により出力制御用翼ピッチ角指令に制振用翼ピッチ角指令を重畳させて、該重畳後の翼ピッチ角指令に基づき風車ブレードのピッチ角を制御する。

[0010] ここで、出力制御のためにピッチ角制御を行うことは従来より広く採用されている技術であるので、加速度計、アクティブ制振手段および加算手段を既存の風力発電装置に付加的に実装するだけで本発明を実現することが可能である。従って、アクティブ制振制御の適用・運用コストを格段に下げることができ、低コストで風力発電装置の振動低減を図ることができる。また、制振用翼ピッチ角指令を出力制御用翼ピッチ角指令に重畳させてピッチ角制御を行うので、出力制御および制振制御を同時に達

成することができる。

[0011] また、本発明の風力発電装置において、前記アクティブ制振手段は、前記加速度計により検出された加速度から速度を推定する速度推定手段と、前記速度推定手段から出力された速度に基づき、前記ナセルの振動を打ち消すように前記風車ブレードにスラスト力を発生させるための該風車ブレードのピッチ角を算出する制御手段とを具備することが好ましい。

[0012] この発明によれば、アクティブ制振手段において、速度推定手段が加速度計により検出された加速度から速度を推定する。そして、制御手段が、推定された速度に基づいて、ナセルの振動を打ち消すように風車ブレードにスラスト力を発生させるための該風車ブレードのピッチ角を算出する。

このように、アクティブ制振手段を速度推定手段および制御手段という簡単な構成で実現できるので、低コストで風力発電装置の振動低減を図ることができる。

[0013] 本発明の風力発電装置において、前記速度推定手段は、前記加速度計により検出された加速度を積分して速度を算出することが好ましい。

このように、速度推定手段が加速度計により検出された加速度を積分して速度を求めるので、高周波数帯のノイズを除去することが可能となる。これにより、後段の制御手段は、安定かつ効果的な制振制御を行うことができる。

[0014] 本発明の風力発電装置において、前記制御手段は、前記速度推定手段から出力された速度の位相を所定量だけ進める位相進み補償手段を具備し、該位相進み補償後の速度に基づき、前記ピッチ角を算出することが好ましい。

更に、前記制御手段は、前記位相進み補償手段から出力された速度の位相を所定量だけ遅らせる位相遅れ補償手段を具備し、該位相遅れ補償後の速度に基づき、前記ピッチ角を算出することが好ましい。

[0015] この発明によれば、該位相遅れ補償後の速度に基づき、ピッチ角を算出するので、加速度計出力の位相遅れを補償すると共に、高域周波数帯のノイズを低減することができるので、安定かつ効果的な制振制御を行うことができる。

[0016] 本発明の風力発電装置において、前記制御手段は、前記速度推定手段により推定された速度を入力とする比例制御器、比例積分制御器、比例積分微分制御器、

線形2次レギュレータ、及び線形2次ガウシアンレギュレータのうちいずれか1つを備え、前記ピッチ角を算出することが好ましい。

このように制御手段を構成することで、安定かつ効果的な制振制御を行うことができる。

[0017] 本発明の風力発電装置において、前記アクティブ制振手段は、前記風車ブレードのピッチ角又は前記風車ブレードのピッチ角の角速度を所定範囲内に制限する制限手段を有することが好ましい。

[0018] この発明によれば、アクティブ制振手段、例えば、アクティブ制振手段が備える制御手段に、風車ブレードのピッチ角又は風車ブレードのピッチ角の角速度(変化率)を所定範囲内に制限する制限手段を具備して構成するので、ピッチ角制御機構の疲労を低減できると共に、パラメータの設定ミス等による不具合を防止できる。

更に、制振用翼ピッチ角指令を出力制御用翼ピッチ角指令に比べて非常に小さい範囲に制限した場合には、両指令値の干渉による影響を軽減若しくは防止することができる。

[0019] 本発明は、翼ピッチ角指令に基づき風車ブレードのピッチ角を制御するピッチ角制御機構と、ナセルに取り付けられ、該ナセルの振動の加速度を検出する加速度計とを備えた風力発電装置のアクティブ制振方法であって、前記加速度計により検出された加速度に基づき、前記ナセルの振動を打ち消すように前記風車ブレードにスラスト力を発生させるための該風車ブレードのピッチ角を算出して翼ピッチ角指令を前記ピッチ角制御機構に出力するアクティブ制振ステップとを具備する風力発電装置のアクティブ制振方法を提供する。

[0020] 本発明によれば、ナセルに取り付けられた加速度計により該ナセルの振動の加速度を検出し、アクティブ制振ステップにおいて、該加速度に基づき、ナセルの振動を打ち消すように風車ブレードにスラスト力を発生させるための該風車ブレードのピッチ角を算出し、これを翼ピッチ角指令としてピッチ角制御機構に出力して、風車ブレードのピッチ角を制御する。このように、加速度計およびピッチ角制御機構のハードウェアとアクティブ制振ステップのソフトウェアで実現できるので、アクティブ制振制御の適用・運用コストを格段に下げることができ、低コストで風力発電装置の振動低減を図る

ことができる。

- [0021] 本発明は、翼ピッチ角指令に基づき風車ブレードのピッチ角を制御するピッチ角制御機構と、ナセルに取り付けられ、該ナセルの振動の加速度を検出する加速度計とを備えた風力発電装置のアクティブ制振方法であって、前記加速度計により検出された加速度に基づき、前記ナセルの振動を打ち消すように前記風車ブレードにスラスト力を発生させるための該風車ブレードのピッチ角を算出して制振用翼ピッチ角指令を出力するアクティブ制振ステップと、風速、風車ロータの回転数または当該風力発電装置の出力に基づき、当該風力発電装置の出力を所定値にするための前記風車ブレードのピッチ角を算出して出力制御用翼ピッチ角指令を出力するピッチ角制御ステップと、前記ピッチ角制御ステップによる出力制御用翼ピッチ角指令に前記アクティブ制振ステップによる制振用翼ピッチ角指令を重畳させた翼ピッチ角指令を前記ピッチ角制御機構に与える加算ステップとを具備する風力発電装置のアクティブ制振方法を提供する。
- [0022] この発明によれば、ナセルに取り付けられた加速度計により該ナセルの振動の加速度を検出し、アクティブ制振ステップにおいて、該加速度に基づき、ナセルの振動を打ち消すように風車ブレードにスラスト力を発生させるための該風車ブレードのピッチ角を算出して制振用翼ピッチ角指令として出力する一方、ピッチ角制御ステップにおいて、出力を所定値にするための風車ブレードのピッチ角を算出して出力制御用翼ピッチ角指令を出力し、加算ステップにより出力制御用翼ピッチ角指令に制振用翼ピッチ角指令を重畳させて、該重畳後の翼ピッチ角指令に基づき風車ブレードのピッチ角を制御する。出力制御のためにピッチ角制御を行うことは従来より広く採用されている技術であるので、アクティブ制振ステップおよび加算ステップを風力発電装置の既存の制御ソフトウェアに付加するだけで本発明を実現することが可能である。
- [0023] これにより、加速度計の実装とソフトウェアの付加で実現が可能であるので、アクティブ制振制御の適用・運用コストを格段に下げることができ、低コストで風力発電装置の振動低減を図ることができる。また、制振用翼ピッチ角指令を出力制御用翼ピッチ角指令に重畳させてピッチ角制御を行うので、出力制御および制振制御を同時に達成することができる。



- [0024] 本発明の風力発電装置のアクティブ制振方法において、前記アクティブ制振ステップは、前記加速度計により検出された加速度から速度を推定する速度推定ステップと、前記速度推定ステップにより推定された速度に基づき、前記ナセルの振動を打ち消すように前記風車ブレードにスラスト力を発生させるための該風車ブレードのピッチ角を算出する制御ステップとを具備することが好ましい。
- [0025] この発明によれば、アクティブ制振ステップにおいて、速度推定ステップにより、加速度計によって検出された加速度に基づいて速度を求め、制御ステップにより、該速度に基づいて、ナセルの振動を打ち消すように風車ブレードにスラスト力を発生させるための該風車ブレードのピッチ角を算出する。このように、アクティブ制振ステップを速度推定ステップおよび制御ステップという簡単な構成で実現できるので、低コストで風力発電装置の振動低減を図ることができる。
- [0026] 本発明の風力発電装置のアクティブ制振方法において、前記速度推定ステップは、前記加速度計により検出された加速度を積分して速度を算出することが好ましい。
- 速度推定ステップにより、高周波数帯のノイズを除去することが可能となるので、アクティブ制振ステップとして、安定かつ効果的な制振制御を行うことができる。
- [0027] 本発明の風力発電装置のアクティブ制振方法において、前記制御ステップは、前記速度推定ステップから出力された速度の位相を所定量だけ進める位相進み補償ステップを具備し、該位相進み補償後の速度に基づき、前記ピッチ角を算出することが好ましい。
- 本発明の風力発電装置のアクティブ制振方法において、前記制御ステップは、前記位相進み補償ステップから出力された速度の位相を所定量だけ遅らせる位相遅れ補償ステップを具備し、該位相遅れ補償後の速度に基づき、前記ピッチ角を算出することが好ましい。
- [0028] 本発明によれば、制御ステップに、速度推定ステップから出力された速度の位相を所定量だけ進める位相進み補償ステップを具備し、制御ステップに、位相進み補償ステップから出力された速度の位相を所定量だけ遅らせる位相遅れ補償ステップを具備し、該位相遅れ補償後の速度に基づきピッチ角を算出する。これにより、加速度計出力の位相遅れを補償すると共に、高域周波数帯のノイズを低減することができる。

ので、安定かつ効果的な制振制御を行うことができる。

- [0029] 本発明の風力発電装置のアクティブ制振方法において、前記制御ステップは、前記速度推定ステップにより推定された速度に対して、比例制御、比例積分制御、比例積分微分制御、線形2次レギュレータを用いた制御、及び線形2次ガウシアンレギュレータを用いた制御のいずれか1つの制御を行う補償ステップを備え、前記補償後の速度に基づき前記ピッチ角を算出することが好ましい。

これにより、安定かつ効果的な制振制御を行うことができる。

- [0030] 本発明の風力発電装置のアクティブ制振方法において、前記アクティブ制振ステップは、前記風車ブレードのピッチ角又は前記風車ブレードのピッチ角の角速度を所定範囲内に制限する制限ステップを有することが好ましい。

発明によれば、ピッチ角制御機構の疲労を低減できると共に、パラメータの設定ミス等による不具合を防止でき、さらに、制振用翼ピッチ角指令を出力制御用翼ピッチ角指令に比べて非常に小さい範囲に制限した場合には、両指令値の干渉による影響を軽減若しくは防止することができる。

- [0031] 本発明の風力発電装置は風車タワーに好適である。

本発明の風力発電装置を風車タワーに採用することにより、アクティブ制振制御の適用・運用コストを格段に下げることができ、低コストで風車タワーの振動低減を図ることができる。また、従来のAMDのように重量物や該重量物用のアクチュエータを用いないので、ナセル重量の増大を伴うことがなく、風車タワーの強度を上げる必要が無く低コストで実現できる。

- [0032] 本発明の風力発電装置によれば、従来のAMDのように重量物や該重量物用のアクチュエータを用いることなく、加速度計、アクティブ制振部およびピッチ角制御機構により、振動を抑制させることができる。これにより、アクティブ制振制御の適用・運用コストを格段に下げることができ、低コストで風力発電装置の振動低減を図ることができるという効果を奏する。

#### 図面の簡単な説明

- [0033] [図1]本発明の一実施形態に係る風力発電装置の構成図である。

[図2]風車ブレードに作用する力を説明する説明図である。

[図3]風速変化に対してスラスト力とピッチ角の関係を例示する説明図である。

[図4]図4(a)は風車タワーの模式図、図4(b)は風車タワーを機械振動系としてモデル化したときの説明図である。

[図5]本発明の一実施形態におけるアクティブ制振制御システムのブロック線図である。

[図6]アクティブ制振部の制御部の構成を例示するブロック線図である。

[図7]図6に示したリミッタの制御内容の一例を示すフローチャートである。

[図8]図6に示したリミッタの制御内容の一例を示すフローチャートである。

[図9]アクティブ制振制御システムを出力制御システムに組み込んだ時の制御システムのブロック線図である。

[図10]風車発電装置の出力および風速間の特性を説明する説明図である。

[図11]アクティブ制振部によるアクティブ制振がある時と無い時について、タワーシステムにおける振動振幅の周波数特性を例示する説明図である。

### 発明を実施するための最良の形態

[0034] 以下、本発明の風力発電装置およびそのアクティブ制振方法並びに風車タワーの実施形態について、図面を参照して詳細に説明する。

図1は本発明の一実施形態に係る風力発電装置の構成図である。同図において、本実施形態の風力発電装置は、風力発電装置の機械的部分10、アクティブ制振部20、ピッチ角制御部30および減算器40を備えて構成されている。まず、本実施形態の風力発電装置における各構成要素の概略を説明する。

[0035] 風力発電装置の機械的部分10は、風車ロータ11、風車ブレード12、ナセル13、及び、風速計16を主な構成要素としている。上記ナセル13は、増速機14、発電機15及び加速度計17を備えている。

[0036] この風力発電装置の機械的部分10では、風車ロータ11に取り付けられた複数枚の風車ブレード12が風力エネルギーを受けて風車ロータ11と共に回転し、増速機14によって増速した後、発電機15を駆動して発電することにより風力エネルギーを電気エネルギーに変換している。なお、図1では増速機14を備えた構成としているが、増速機14を用いないダイレクトドライブ方式でもかまわない。

- [0037] 本実施形態の風力発電装置の特徴である加速度計17は、ナセル13内部のタワー中心部に近い位置に設置され、ナセル13の前後方向の振動の加速度を検出する。
- [0038] また、ピッチ角制御部30は、風速計16で測定された風速 $v$ 、風車ロータ11の回転数 $N$ または当該風力発電装置の出力 $P$ に基づき、当該風力発電装置の出力 $P$ を所定値にするための風車ブレード12のピッチ角を算出し、これを出力制御用翼ピッチ角指令  $\theta^*$  として出力する。このピッチ角制御による出力制御は従前より行われており、本実施形態のピッチ角制御部30も従前のものと同等である。
- [0039] また、アクティブ制振部20は、加速度計17により検出された加速度に基づき、ナセル13の振動を打ち消すように風車ブレード12にスラスト力を発生させるための該風車ブレード12のピッチ角を算出し、これを制振用翼ピッチ角指令  $\delta \theta^*$  として出力する。
- [0040] さらに、減算器(加算部)40は、ピッチ角制御部30からの出力制御用翼ピッチ角指令  $\theta^*$  にアクティブ制振部20からの制振用翼ピッチ角指令  $\delta \theta^*$  を重畳させ、これを翼ピッチ角指令としてピッチ角制御機構に与える。ここで、ピッチ角制御機構(図示せず)は、翼ピッチ角指令に基づき風車ブレード12のピッチ角を制御するもので、その構造等は従来のもものと同等である。
- [0041] 次に、アクティブ制振部20の詳細な構成、並びに、アクティブ制振部20により風力発電装置および風車タワーの振動を低減させるアクティブ制振方法について詳しく説明する。
- [0042] まず、アクティブ制振方法の基本的な考え方について図2および図3を参照して説明する。図2は、風車ブレード12(図1参照)の先端から根本の方を見たときの風車ブレード12の断面を示しており、風車ブレード12に作用する力を説明する説明図である。なお、同図において、風車ブレードの回転方向は右から左であり、風力発電装置または風車タワーの振動方向を上下( $x$ )方向としている。また、図3は、6[m/s]から24[m/s]までの風速 $v$ それぞれについて、スラスト力とピッチ角の関係を例示する説明図である。
- [0043] 図2に示すように、風車運転中には、風車ブレードに対して揚力 $L$ と抗力 $D$ が作用する。抗力 $D$ は、風車タワーのナセル13(図1参照)の前後方向にスラスト力として作

用している。一方、図3に示すように、スラスト力の大きさは風速とピッチ角により変化する。したがって、ピッチ角を何らかの制御則に基づいて制御すれば、風車タワーのナセル13の前後方向のスラスト力を変化させて、風車タワーのナセル13の前後方向の振動をある程度制御することが可能である。本発明は、この点に着目したものであり、このピッチ角の制御則について、以下説明する。

[0044] 図4(a)は、風車タワーの模式図、図4(b)は風車タワーを機械振動系としてモデル化したときの説明図である。すなわち、図4(a)では、風車タワーのナセル13に加速度計17を設置して、変位 $x$ についての加速度( $d^2x/dt^2$ )を検出することを模式的に示している。また図4(b)に示すように、風車タワーは、質量 $m$ の物体、ばね定数 $k$ のばね、並びに、粘性抵抗 $c$ のダッシュポットでモデル化することができる。

この機械振動系において、平衡状態からの変位を $x$ とすると、物体の振動の方程式は、(1)式となる。

[0045]

$$m\ddot{x} + c\dot{x} + kx = f + \Delta f \quad (1)$$

[0046] ここで、 $f + \Delta f$ は物体に対して働く力であり、 $\Delta f$ はアクティブ制振部20のピッチ制御動作によって付加的に加わる力である。

(1)式について、変形すると(2)式が得られる。

[0047]

$$\ddot{x} + \frac{c}{m} \dot{x} + \frac{k}{m} x = \frac{1}{m} (f + \Delta f) \quad (2)$$

[0048] ここで、系の固有振動数 $\omega_n$ および減衰率 $\zeta$ を次のように置いて、(2)式を書き換えると(5)式が得られる。

$$\omega_n = (k/m)^{1/2} \quad (3)$$

$$\zeta = c/2(mk)^{1/2} \quad (4)$$

[0049]

$$\ddot{x} + 2\zeta\omega_n\dot{x} + \omega_n^2 x = \frac{1}{m} (f + \Delta f) \quad (5)$$

[0050] さらに、(5)式をラプラス変換すれば、(6)式が得られる。

$$s^2 X(s) + 2\zeta \omega_n s X(s) + \omega_n^2 X(s) = (1/m) F(s) \quad (6)$$

(6)式より、系の伝達関数 $G(s)$ は(7)式で与えられることになる。

$$G(s) = X(s)/F(s) = (1/m) / (s^2 + 2\zeta \omega_n s + \omega_n^2) \quad (7)$$

(7)式のような2次系の周波数応答特性において、(3)、(4)式から、質量 $m$ およびばね定数 $k$ の変化で系の固有振動数 $\omega_n$ を変えることができるが、減衰率 $\zeta$ については、質量 $m$ およびばね定数 $k$ の変化の影響よりも粘性抵抗 $c$ の変化の影響の方が大きいことが分かる。

[0051] 一方、(1)式において、付加的に加わる力 $\Delta f$ を、例えば、

[0052]

$$\Delta f = -D_p \dot{x} \quad (8)$$

[0053] と置くことにより、(1)式は(9)式のように書き換えることができる。

[0054]

$$m\ddot{x} + (C + D_p)\dot{x} + kx = f \quad (9)$$

[0055] つまり、アクティブ制振部20のピッチ制御動作によって付加的に加わる力 $\Delta f$ を(8)式のように設定することにより、(9)式の1次項における $+D_p$ 分の増加によって減衰率 $\zeta$ をより大きな値に変えることができ、振動の減衰をより早めると共に、周波数応答特性において固有振動数 $\omega_n$ のゲインのピーク値をより抑えて、振動振幅を抑制することができることになる。

以上説明したアクティブ制振方法の基本的な考え方を踏まえて、次に、アクティブ制振制御のための具体的な構成とその動作について詳しく説明する、図5には、本実施形態におけるアクティブ制振制御システムのブロック線図を示す。

[0056] 図5において、符号51は、減算器40から出力される翼ピッチ角指令に基づき風車ブレード12を駆動してピッチ角度を制御するピッチアクチュエータである。ピッチアク

チュエータ51は、具体的には、油圧シリンダまたは電動モータ等によって実現されるが、ここでは、機械振動系の観点から1次遅れ系でモデル化している。

[0057] また、符号52は、風車運転中に風車ブレードに対して作用するスラスト力を算出するブレードシステムである。図2に示したように、風車タワーのナセル13の前後方向のスラスト力は、揚力Lおよび抗力Dの前後方向成分の和であるので、加算器54でこれらを加算して出力している。また、抗力Dによるスラスト力については、風車ブレード12のピッチ角とスラスト力の間に図3に示したような特性を持つ。従って、スラスト力はピッチ角に逆比例すると見なして、その直線近似で得られる勾配に基づく $K_b$ をゲインとする増幅器53により求めている。

[0058] 符号55は、風車タワーを機械振動系としてモデル化したタワーシステムである。伝達関数は(7)式で求めたが、アクティブ制振制御システムでは、加速度( $d^2x/dt^2$ )を加速度計17で検出してフィードバックをかけているので、(7)式に $s^2$ を掛けた伝達関数でモデル化している。なお、このモデルは1次振動モードのみのモデルである。

[0059] 以上のピッチアクチュエータ51、ブレードシステム52およびタワーシステム55は、従来の風力発電装置が備える構成であるが、本実施形態では、これらに、タワーシステム55の出力である加速度を検出する加速度計17、風車タワーのナセル13の前後方向のスラスト力を変化させるための制振用翼ピッチ角指令 $\delta\theta^*$ を生成するアクティブ制振部20、並びに、アクティブ制振部20によって得られる制振用翼ピッチ角指令 $\delta\theta^*$ をピッチ角制御部30から出力される出力制御用翼ピッチ角指令 $\theta^*$ に重畳するべく、 $\delta\theta^* - \theta^*$ の演算を行う減算器40を付加して、フィードバックループを構成している。

加速度計17は、出力に位相遅れがあるので1次遅れ系でモデル化している。また、アクティブ制振部20では、(8)式で設定したように、速度( $dx/dt$ )に $D_p$ を掛けたものをアクティブ制振部20のピッチ制御動作によって付加的に加わる力としているので、加速度を積分して速度を求める積分器21、並びに、伝達関数 $G_c(s)$ を持つ制御部22を備えて構成されている。

[0060] すなわち、ナセル13内部に設置された加速度計17により、ナセル13の前後方向の加速度(1次振動モード)を計測し、その計測した加速度をアクティブ制振部20に

入力して、積分器21による積分演算によりナセル13の前後方向の速度を算出する。アクティブ制振部20の制御部22では、算出された速度に基づいて制振効果を得るための制振用翼ピッチ角指令  $\delta \theta^*$  を計算する。アクティブ制振部20で求められた制振用翼ピッチ角指令  $\delta \theta^*$  は、減算器40によってピッチ角制御部30(図1参照)で求められた出力制御用翼ピッチ角指令  $\theta^*$  に重畳される。ピッチアクチュエータ51では、この重畳された翼ピッチ角指令に基づき風車ブレード12を駆動してピッチ角度を制御する。このピッチ角度制御により、当該風力発電装置の出力が制御されると共に、ピッチ角に応じたスラスト力が風車タワーのナセル13の前後方向の振動を抑制するように作用して、振動の減衰を早める働きをする。

- [0061] このように、本実施形態では、制振用翼ピッチ角指令  $\delta \theta^*$  を出力制御用翼ピッチ角指令  $\theta^*$  に重畳することで、出力制御および制振制御を同時に達成することができる。なお、速度を算出する積分器21は単に積分演算を行うだけでなく、周波数特性として相対的に高域周波数帯を抑制し且つ低域周波数帯を強調する特性を持つので、高周波数帯のノイズをカットする役目をも果たす。

なお、積分器の構造は完全積分( $1/s$ )に限定されるものではなく、これと同等の作用をもつフィルタ(例えば1次遅れ要素など)あるいは、適当な状態推定器(同一・最小次元オブザーバやカルマンフィルタ)などでもよい。

- [0062] 次に、図6(a)及び図6(b)を参照して、アクティブ制振部20の制御部22の具体的な構成および動作について説明する。図6(a)及び図6(b)は、共にアクティブ制振部20の制御部22の構成を例示するブロック線図である。

- [0063] 図6(a)において、制御部22aは、位相進み補償器62、位相遅れ補償器63、増幅器64およびリミッタ65を備えて構成されている。

上述のように、加速度計17の出力には位相遅れがあるので、位相進み補償器62によって位相を調整している。位相進み補償器62は、図示するように、 $(1 + s\alpha T_1) / (1 + sT_1)$  の位相進み系の伝達関数(ここで、 $\alpha < 1$ )を持つ。

- [0064] また、位相進み補償器62を通過することにより、高域周波数帯でのノイズが増幅されてしまうので、その対策として位相遅れ補償器63を付加し、相対的に高域周波数帯を抑制し且つ低域周波数帯を強調している。位相遅れ補償器63は、図示するよう



に、 $(1+s\alpha T_2)/(1+sT_2)$ の位相遅れ系の伝達関数(ここで、 $\alpha > 1$ )を持つ。このように、アクティブ制振部20の制御部22に、位相進み補償器62および位相遅れ補償器63の2種類のフィルタを具備することにより、加速度計17出力の位相遅れを補償すると共に、高域周波数帯のノイズを低減することができるので、安定かつ効果的な制振制御を行うことができる。

[0065] また、(8)式の設定から、増幅器64は、ゲイン $D_p$ の伝達関数を持つように構成される。ここで、ゲイン $D_p$ は、シミュレーションや実験等の結果を踏まえて、設定されるのが望ましい。

なお、制御部22(図5参照)の構成は、上述した位相補償器に限定されることは無く、例えば比例制御器、比例積分制御器、比例積分微分制御器、LQレギュレータ(線形2次レギュレータ)、LQGレギュレータ(線形2次ガウシアンレギュレータ)などによっても実現可能である。

[0066] さらに、制振用翼ピッチ角指令  $\delta \theta^*$  によるピッチ角制御をあまり頻繁に行うと、ピッチ角制御機構が動きすぎて疲労を起こしてしまうことから、リミッタ65(図6(a)、(b)参照)により制振用翼ピッチ角指令  $\delta \theta^*$  に制限(例えば、 $\pm 1[\text{deg}]$ )を設けて、ピッチ角制御機構の疲労を低減するとよい。

[0067] 具体的には、図6に示した増幅器64の出力(以下「ピッチ角指令」という。)が、予め設定されている最小ピッチ角よりも小さい場合には(図7のステップSA1において「YES」)、最小ピッチ角或いは最小ピッチ角よりも大きい所定のピッチ角を最終的な制振用翼ピッチ角指令  $\delta \theta^*$  として出力する(図7のステップSA2)。一方、ピッチ角指令が最小ピッチ角以上であった場合には(図7のステップSA1において「NO」)、ピッチ角指令が予め設定されている最大ピッチ角よりも大きいかな否かを判断する(図7のステップSA3)。

[0068] この結果、ピッチ角指令が最大ピッチ角よりも大きい場合には(図7のステップSA3において「YES」)、最大ピッチ角或いは最大ピッチ角よりも小さい所定のピッチ角を最終的な制振用翼ピッチ角指令  $\delta \theta^*$  として出力する(図7のステップSA4)。一方、当該ピッチ角指令が最大ピッチ角以下の場合には(図7のステップSA3において「NO」)、当該ピッチ角指令を最終的な制振用翼ピッチ角指令  $\delta \theta^*$  として出力する(図7の

ステップSA5)。

[0069] また、上述したように、増幅器64(図6(a)(b)参照)の出力自体を制限するのではなく、この出力の変化率、言い換えると、ピッチ角度の角速度を一定範囲内に制限(例えば、 $\pm 0.6[\text{deg/sec}]$ )しても良い。

[0070] 具体的には、図8に示すように、まず、増幅器64(図6参照)の出力の前回値(以下「ピッチ角指令の前回値」という。)と今回値(以下「ピッチ角指令の今回値」という。)とに基づいて変化率を算出し(ステップSB1)、この変化率が予め設定されている最小変化率よりも小さいか否かを判断する(ステップSB2)。この結果、変化率が予め設定されている最小変化率よりも小さい場合には(ステップSB2において「YES」)、ピッチ角指令の前回値に最小変化率を加算した値を最終的な制振用翼ピッチ角指令  $\delta \theta^*$  として出力する(ステップSB3)。

[0071] 一方、変化率が最小変化率以上であった場合には(ステップSB2において「NO」)、変化率が予め設定されている最大変化率よりも大きいかな否かを判断する(ステップSB4)。この結果、変化率が最大変化率よりも大きい場合には(ステップSB4において「YES」)、ピッチ角指令の前回値に最大変化率を加算した値を最終的な制振用翼ピッチ角指令  $\delta \theta^*$  として出力する(ステップSB5)。一方、変化率が最大変化率以下の場合には(ステップSB4において「NO」)、ピッチ角指令の今回値を最終的な制振用翼ピッチ角指令  $\delta \theta^*$  として出力する(ステップSB6)。

[0072] 以上説明していたように、制振用翼ピッチ角指令  $\delta \theta^*$  またはピッチ角指令  $\delta \theta^*$  の変化率を制限することにより、制振制御系のパラメータの設定ミス等によって風車タワーの振動がかえって増大してしまうなどの不具合を防止することができる。

さらに、制振用翼ピッチ角指令  $\delta \theta^*$  は、出力制御用翼ピッチ角指令  $\theta^*$  に比べて非常に小さい範囲に制限されるので、両指令値の干渉による影響を軽減若しくは防止することができる。

また、図6(b)に示す制御部22bでは、制御部22aの位相進み補償器62の前段に2次振動性の補償器61を付加して構成し、より高精度の制御を実現している。

[0073] なお、以上の説明では、アクティブ制振部20をハードウェアで構成して、制振用翼ピッチ角指令  $\delta \theta^*$  を出力するものとして説明したが、各構成要素を順次実行される

サブプログラムとして構成しても良い。この場合、積分器20は積分ステップ(速度推定ステップ)、制御部22は制御ステップ、また、制御部22内の各構成要素もそれぞれ位相進み補償ステップ、位相遅れ補償ステップ、制限ステップ等に置き換えられ、これら各ステップはいわゆるコントローラ内部のCPU, MPU或いはDSP上で実行されるサブプログラムとなる。

[0074] 次に、上述したアクティブ制振部20によるアクティブ制振制御システムを、従来の風力発電装置で実現されているピッチ角制御部30(図1参照)による出力制御システムに組み込んだ時の制御システムのブロック線図を図9に示し、ピッチ角制御部30による出力制御について簡単に説明する。

図9において、ピッチ角制御部は、減算器31、32と、風速制御部33と、回転数制御部34と、出力制御部35と、選択部36とを備えている。

風速制御部33は、風速計16によって測定した風速 $v$  [m/s]に基づき翼ピッチ角指令 $\theta_v$ を求めて出力する。また、回転数制御部34は、風車ロータ11の回転数 $N$  [rpm]に基づき、所定回転数(目標値) $N^*$ となるような翼ピッチ角指令 $\theta_N$ を算出して出力する。さらに、出力制御部35は、当該風力発電装置の出力 $P$  [kW]に基づき、所定出力(目標値) $P^*$ となるような翼ピッチ角指令 $\theta_P$ を算出して出力する。

[0075] また、選択部36では、風速制御部33、回転数制御部34および出力制御部35のそれぞれで求めた翼ピッチ角指令 $\theta_v$ 、 $\theta_N$ および $\theta_P$ の内の最小値を選択(minimum selection)、即ち、最も出力を出さない翼ピッチ角指令を選んで、出力制御用翼ピッチ角指令 $\theta^*$ として出力する。また、一般に、風車発電装置の出力 $P$  [kW]と風速 $v$  [m/s]の特性は、図10に示す説明図のようになる。定格出力、定格風速となるまでは、風速 $v$  [m/s]に基づく制御を行い、定格出力、定格風速に至った後は風車ロータ11の回転数 $N$  [rpm]または風力発電装置の出力 $P$  [kW]に基づく制御を行う。

なお、ピッチ角制御部30によるピッチ角の範囲は、ファインピッチ(約 $-20$  [deg]でこの時回転数は大きい)からフェザー(約 $-104$  [deg]でこの時回転数は小さい)までと広い制御範囲を持つ。

[0076] 次に、本実施形態の風力発電装置およびそのアクティブ制振方法の効果を、シミュレーション実験結果を例示して説明する。図11は、アクティブ制振部20(図1参照)

によるアクティブ制振がある時と無い時について、タワーシステム55(図5参照)における振動振幅の周波数特性を示している。タワーシステム55の固有振動数付近で振動振幅が抑制されていることが顕著に表れている。なお、タワーシステム55の固有振動数は予め分かっているので、固有振動数に応じた制御システムのパラメータ設定を行うことで、より最適な制振制御を行うことができる。

[0077] 以上説明したように、本実施形態の風力発電装置またはそのアクティブ制振方法では、図1に示すように、ナセル13に取り付けられた加速度計17により該ナセル13の振動の加速度を検出し、アクティブ制振部20(アクティブ制振ステップ)において、該加速度に基づき、ナセル13の振動を打ち消すように風車ブレード12にスラスト力を発生させるための該風車ブレード12のピッチ角を算出し、これを制振用翼ピッチ角指令  $\delta \theta^*$  として出力する。一方、ピッチ角制御部30(ピッチ角制御ステップ)において、出力を所定値にするための風車ブレード12のピッチ角を算出してこれを出力制御用翼ピッチ角指令  $\theta^*$  として出力する。そして、減算器40(加算ステップ)により出力制御用翼ピッチ角指令  $\theta^*$  に制振用翼ピッチ角指令  $\delta \theta^*$  を重畳させて、該重畳後の翼ピッチ角指令に基づき風車ブレードのピッチ角を制御するようにしている。

[0078] 出力制御のためにピッチ角制御を行うことは従来より広く採用されている技術であるので、加速度計17、アクティブ制振部20(アクティブ制振ステップ)および減算器40(加算ステップ)を既存の風力発電装置に付加的に実装するだけで本実施形態を実現することが可能である。すなわち、容易に実装が可能であるので、アクティブ制振制御の適用・運用コストを格段に下げることができ、低コストで風力発電装置の振動低減を図ることができる。また、制振用翼ピッチ角指令  $\delta \theta^*$  を出力制御用翼ピッチ角指令  $\theta^*$  に重畳させてピッチ角制御を行うので、出力制御および制振制御を同時に達成することができる。

本実施形態の風力発電装置またはそのアクティブ制振方法では、図1に示すように、アクティブ制振部20(アクティブ制振ステップ)において、加速度計により検出された加速度を積分器21(積分ステップ)により積分して速度を求め、制御部22(制御ステップ)により、該速度に基づいて、ナセルの振動を打ち消すように風車ブレードにスラスト力を発生させるための該風車ブレードのピッチ角を算出する。このように、本発

明によれば、アクティブ制振部20(アクティブ制振ステップ)を積分器21(積分ステップ)および制御部22(制御ステップ)という簡単な構成で実現できるので、低コストで風力発電装置の振動低減を図ることができる。また、積分器21(積分ステップ)を介して高周波数帯のノイズも除去されるので、安定かつ効果的な制振制御を行うことができる。

[0079] 本実施形態の風力発電装置またはそのアクティブ制振方法によれば、図1、図6(a)、及び図6(b)に示すように、制御部22(制御ステップ)に、積分器21(積分ステップ)から出力された速度の位相を所定量だけ進める位相進み補償器62(位相進み補償ステップ)と、位相進み補償器62(位相進み補償ステップ)から出力された速度の位相を所定量だけ遅らせる位相遅れ補償器63(位相遅れ補償ステップ)を具備し、該位相遅れ補償後の速度に基づき、ピッチ角を算出する。これにより、加速度計出力の位相遅れを補償すると共に、高域周波数帯のノイズを低減することができるので、安定かつ効果的な制振制御を行うことができる。

本実施形態の風力発電装置またはそのアクティブ制振方法によれば、図6(a)及び図6(b)に示すように、制御部22(制御ステップ)に、算出されたピッチ角を所定範囲内に制限するリミッタ65(制限ステップ)を具備して構成するので、ピッチ角制御機構の疲労を低減できると共に、パラメータの設定ミス等による不具合を防止でき、さらに、制振用翼ピッチ角指令  $\delta \theta^*$  を出力制御用翼ピッチ角指令  $\theta^*$  に比べて非常に小さい範囲に制限した場合には、両指令値の干渉による影響を軽減若しくは防止することができる。

[0080] 以上、本発明の実施形態について図面を参照して詳述してきたが、具体的な構成はこの実施形態に限られるものではなく、本発明の要旨を逸脱しない範囲の設計変更等も含まれる。

上記実施形態の説明では、風力発電装置およびそのアクティブ制振方法について詳細に述べたが、本実施形態の風力発電装置およびそのアクティブ制振方法をそのまま風車タワーに適用することができる。この場合、上述した効果の他に、次のような効果をも奏する。すなわち、従来のAMDのように重量物や該重量物用のアクチュエータを用いないので、ナセル13の重量が増大することがなく、風車タワー自体の強

度を上げる必要が無いことから、低コストで実現できる点である。

また、実施形態では、ピッチ角制御によって出力制御を行っているが、他の出力制御を採用している風力発電装置または風車タワーにも適用できる。但し、この場合、新たに風車ブレード12のピッチ角を制御するピッチ角制御機構を付加する必要がある。

[0081] さらに、実際の運用において、信頼性や安全性を高める観点から以下のような構成や手法を採ることも可能である。

例えば、フェールセーフのためにナセル13内部に常時2つの加速度計を動作させておき、アクティブ制振制御には片方の検出結果のみを使用し、どちらか一方が故障した場合には、アクティブ制振制御を自動的に停止させる手法である。

また、制振制御系のパラメータ(主としてフィードバックゲイン $G_c(s)$ )の設定値が不適切である場合、例えば、符号が逆転していたり許容範囲を超えたハイゲインに設定したりした場合などには、制振制御系が不安定となって風車タワー(ナセル13)の振動が増大してしまうようなことが起き得るが、(加速度計17等によって)このような状態を自動的に検知し、アクティブ制振制御を自動的に停止させる手法なども考えられる。

### 請求の範囲

- [1] 翼ピッチ角指令に基づき風車ブレードのピッチ角を制御するピッチ角制御機構を備えた風力発電装置であって、
- ナセルに取り付けられ、該ナセルの振動の加速度を検出する加速度計と、
- 前記加速度計により検出された加速度に基づき、前記ナセルの振動を打ち消すように前記風車ブレードにスラスト力を発生させるための該風車ブレードのピッチ角を算出して翼ピッチ角指令を前記ピッチ角制御機構に出力するアクティブ制振手段とを有する風力発電装置。
- [2] 翼ピッチ角指令に基づき風車ブレードのピッチ角を制御するピッチ角制御機構を備えた風力発電装置であって、
- ナセルに取り付けられ、該ナセルの振動の加速度を検出する加速度計と、
- 前記加速度計により検出された加速度に基づき、前記ナセルの振動を打ち消すように前記風車ブレードにスラスト力を発生させるための該風車ブレードのピッチ角を算出して制振用翼ピッチ角指令を出力するアクティブ制振手段と、
- 風速、風車ロータの回転数または当該風力発電装置の出力に基づき、当該風力発電装置の出力を所定値にするための前記風車ブレードのピッチ角を算出して出力制御用翼ピッチ角指令を出力するピッチ角制御手段と、
- 前記ピッチ角制御手段からの出力制御用翼ピッチ角指令に前記アクティブ制振手段からの制振用翼ピッチ角指令を重畳させた翼ピッチ角指令を前記ピッチ角制御機構に与える加算手段と
- を有する風力発電装置。
- [3] 前記アクティブ制振手段は、
- 前記加速度計により検出された加速度から速度を推定する速度推定手段と、
- 前記速度推定手段から出力された速度に基づき、前記ナセルの振動を打ち消すように前記風車ブレードにスラスト力を発生させるための該風車ブレードのピッチ角を算出する制御手段と
- を有する請求項1に記載の風力発電装置。
- [4] 前記速度推定手段は、前記加速度計により検出された加速度を積分して速度を算

出する請求項3に記載の風力発電装置。

- [5] 前記制御手段は、前記速度推定手段から出力された速度の位相を所定量だけ進める位相進み補償手段を有し、該位相進み補償後の速度に基づき、前記ピッチ角を算出する請求項3に記載の風力発電装置。
- [6] 前記制御手段は、前記位相進み補償手段から出力された速度の位相を所定量だけ遅らせる位相遅れ補償手段を有し、該位相遅れ補償後の速度に基づき、前記ピッチ角を算出する請求項5に記載の風力発電装置。
- [7] 前記制御手段は、前記速度推定手段により推定された速度を入力とする比例制御器、比例積分制御器、比例積分微分制御器、線形2次レギュレータ、及び線形2次ガウシアンレギュレータのうちいずれか1つを備え、前記ピッチ角を算出する請求項3に記載の風力発電装置。
- [8] 前記アクティブ制振手段は、前記風車ブレードのピッチ角又は前記風車ブレードのピッチ角の角速度を所定範囲内に制限する制限手段を有する請求項1に記載の風力発電装置。
- [9] 翼ピッチ角指令に基づき風車ブレードのピッチ角を制御するピッチ角制御機構と、ナセルに取り付けられ、該ナセルの振動の加速度を検出する加速度計と、を備えた風力発電装置のアクティブ制振方法であって、  
前記加速度計により検出された加速度に基づき、前記ナセルの振動を打ち消すように前記風車ブレードにスラスト力を発生させるための該風車ブレードのピッチ角を算出して翼ピッチ角指令を前記ピッチ角制御機構に出力するアクティブ制振ステップと  
を有する風力発電装置のアクティブ制振方法。
- [10] 翼ピッチ角指令に基づき風車ブレードのピッチ角を制御するピッチ角制御機構と、ナセルに取り付けられ、該ナセルの振動の加速度を検出する加速度計と、を備えた風力発電装置のアクティブ制振方法であって、  
前記加速度計により検出された加速度に基づき、前記ナセルの振動を打ち消すように前記風車ブレードにスラスト力を発生させるための該風車ブレードのピッチ角を算出して制振用翼ピッチ角指令を出力するアクティブ制振ステップと、



風速、風車ロータの回転数または当該風力発電装置の出力に基づき、当該風力発電装置の出力を所定値にするための前記風車ブレードのピッチ角を算出して出力制御用翼ピッチ角指令を出力するピッチ角制御ステップと、

前記ピッチ角制御ステップによる出力制御用翼ピッチ角指令に前記アクティブ制振ステップによる制振用翼ピッチ角指令を重畳させた翼ピッチ角指令を前記ピッチ角制御機構に与える加算ステップと

を有する風力発電装置のアクティブ制振方法。

[11] 前記アクティブ制振ステップは、

前記加速度計により検出された加速度から速度を推定する速度推定ステップと、

前記速度推定ステップにより推定された速度に基づき、前記ナセルの振動を打ち消すように前記風車ブレードにスラスト力を発生させるための該風車ブレードのピッチ角を算出する制御ステップと

を有する請求項9に記載の風力発電装置のアクティブ制振方法。

[12] 前記速度推定ステップは、前記加速度計により検出された加速度を積分して速度を算出する請求項11に記載のアクティブ制振方法。

[13] 前記制御ステップは、前記速度推定ステップにより推定された速度の位相を所定量だけ進める位相進み補償ステップを有し、該位相進み補償後の速度に基づき、前記ピッチ角を算出する請求項11に記載の風力発電装置のアクティブ制振方法。

[14] 前記制御ステップは、前記位相進み補償ステップから出力された速度の位相を所定量だけ遅らせる位相遅れ補償ステップを有し、該位相遅れ補償後の速度に基づき、前記ピッチ角を算出する請求項13に記載の風力発電装置のアクティブ制振方法。

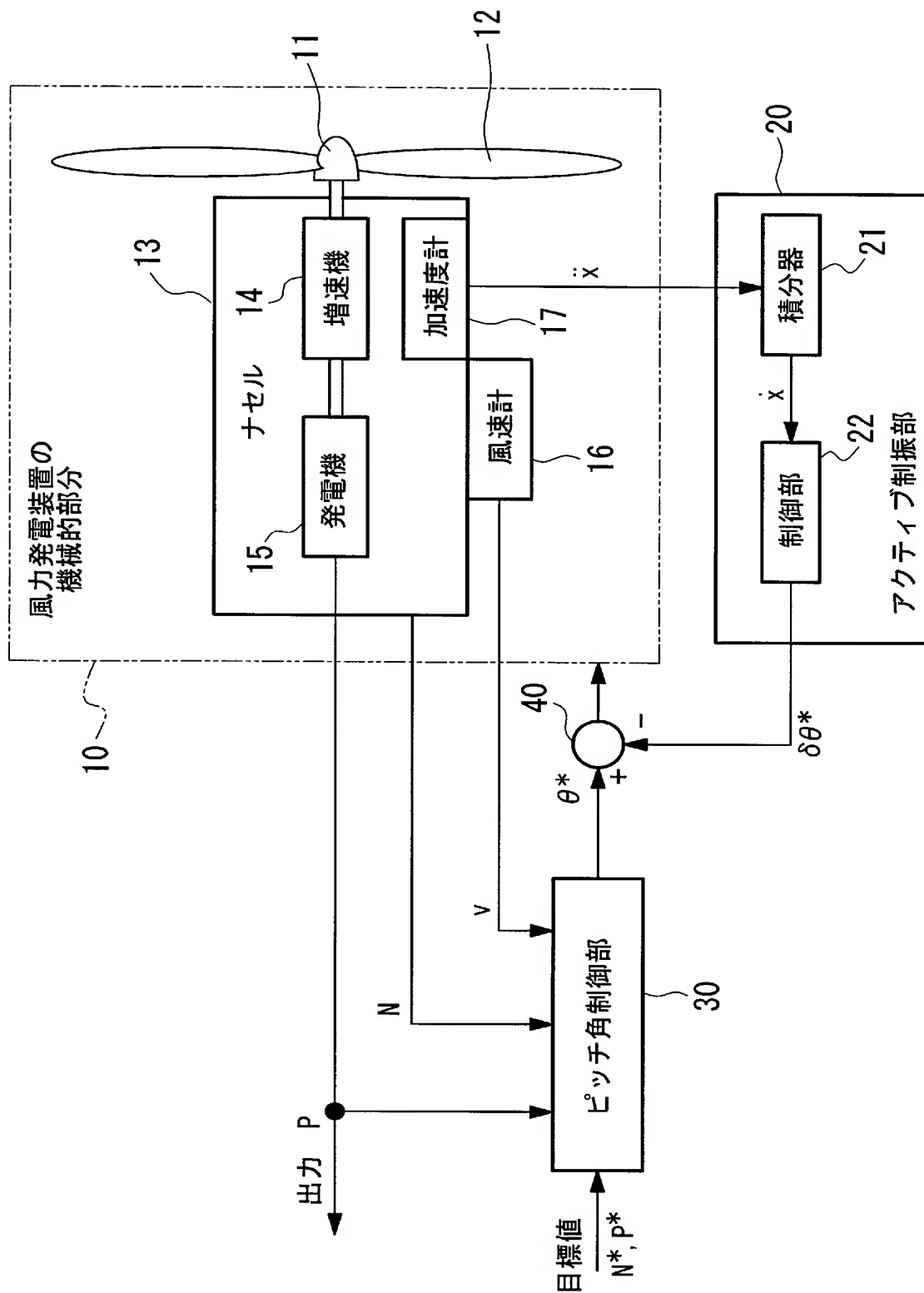
[15] 前記制御ステップは、前記速度推定ステップにより推定された速度に対して、比例制御、比例積分制御、比例積分微分制御、線形2次レギュレータを用いた制御、及び線形2次ガウシャンレギュレータを用いた制御のいずれか1つの制御を行う補償ステップを備え、前記補償後の速度に基づき前記ピッチ角を算出する請求項11に記載の風力発電装置のアクティブ制振方法。

[16] 前記アクティブ制振ステップは、前記風車ブレードのピッチ角又は前記風車ブレードのピッチ角の角速度を所定範囲内に制限する制限ステップを有する請求項9に記

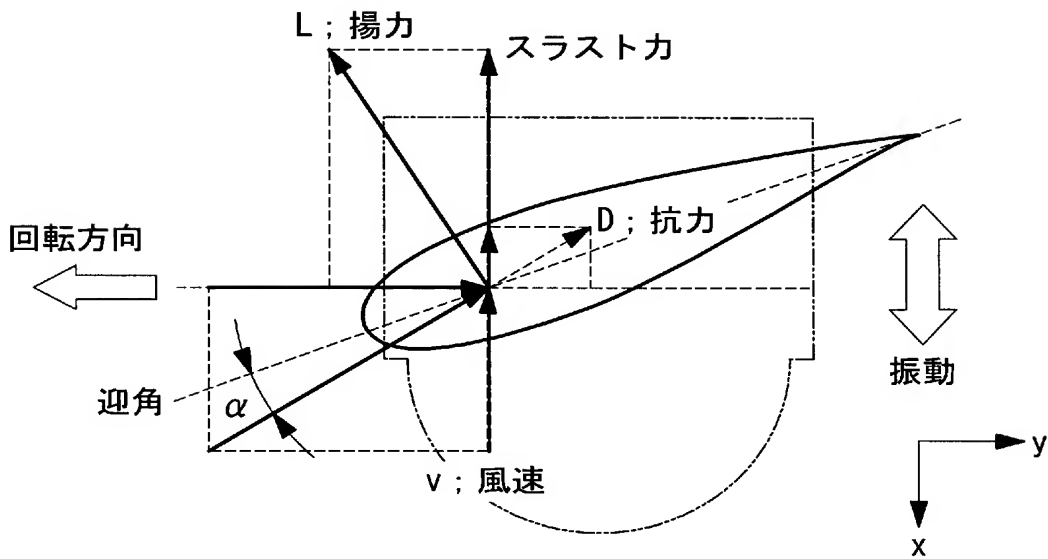
載の風力発電装置のアクティブ制振方法。

- [17] 翼ピッチ角指令に基づき風車ブレードのピッチ角を制御するピッチ角制御機構と、ナセルに取り付けられ、該ナセルの振動の加速度を検出する加速度計と、前記加速度計により検出された加速度に基づき、前記ナセルの振動を打ち消すように前記風車ブレードにスラスト力を発生させるための該風車ブレードのピッチ角を算出して翼ピッチ角指令を前記ピッチ角制御機構に出力するアクティブ制振手段とを有する風力発電装置を備える風車タワー。

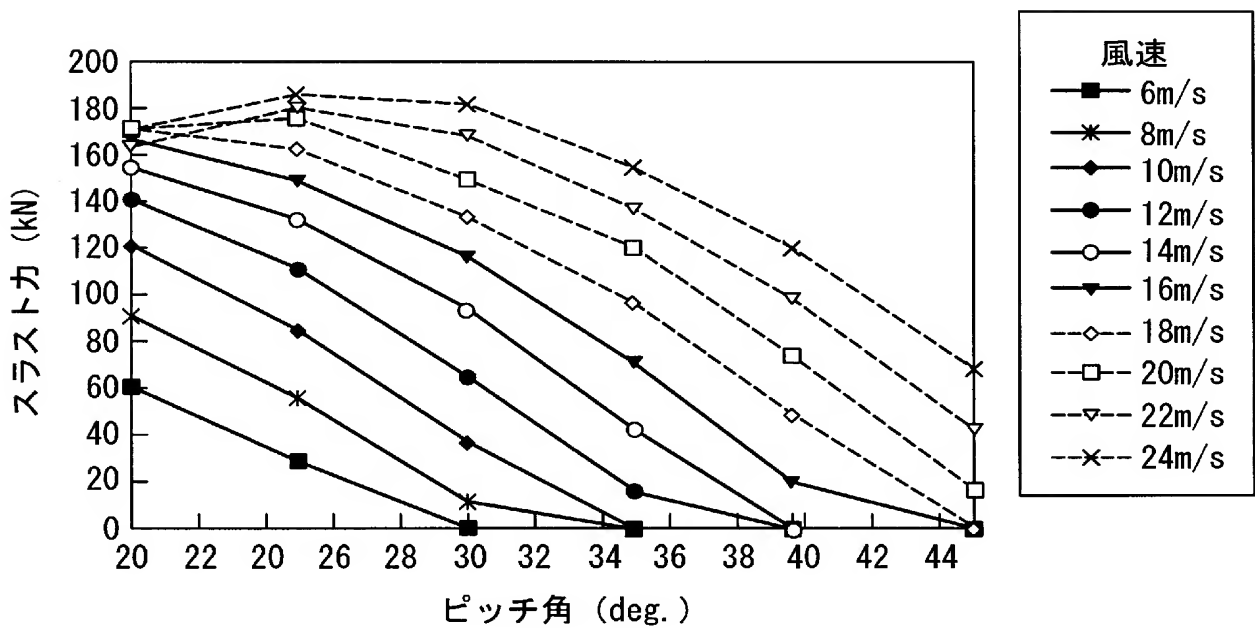
[図1]



[図2]

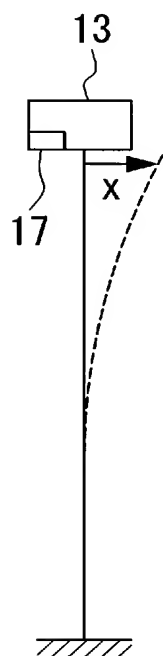


[図3]

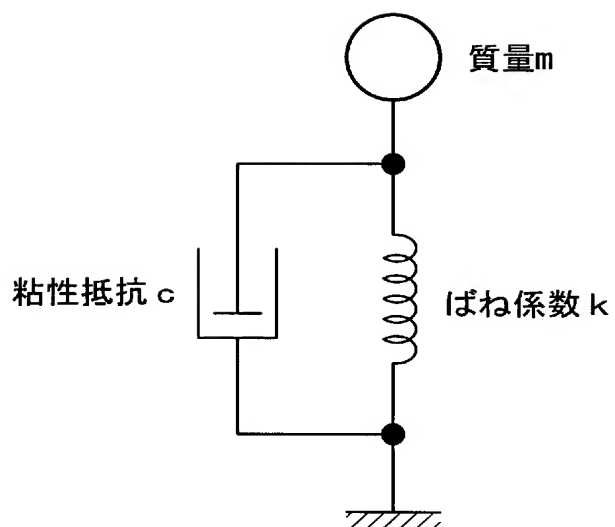


[図4]

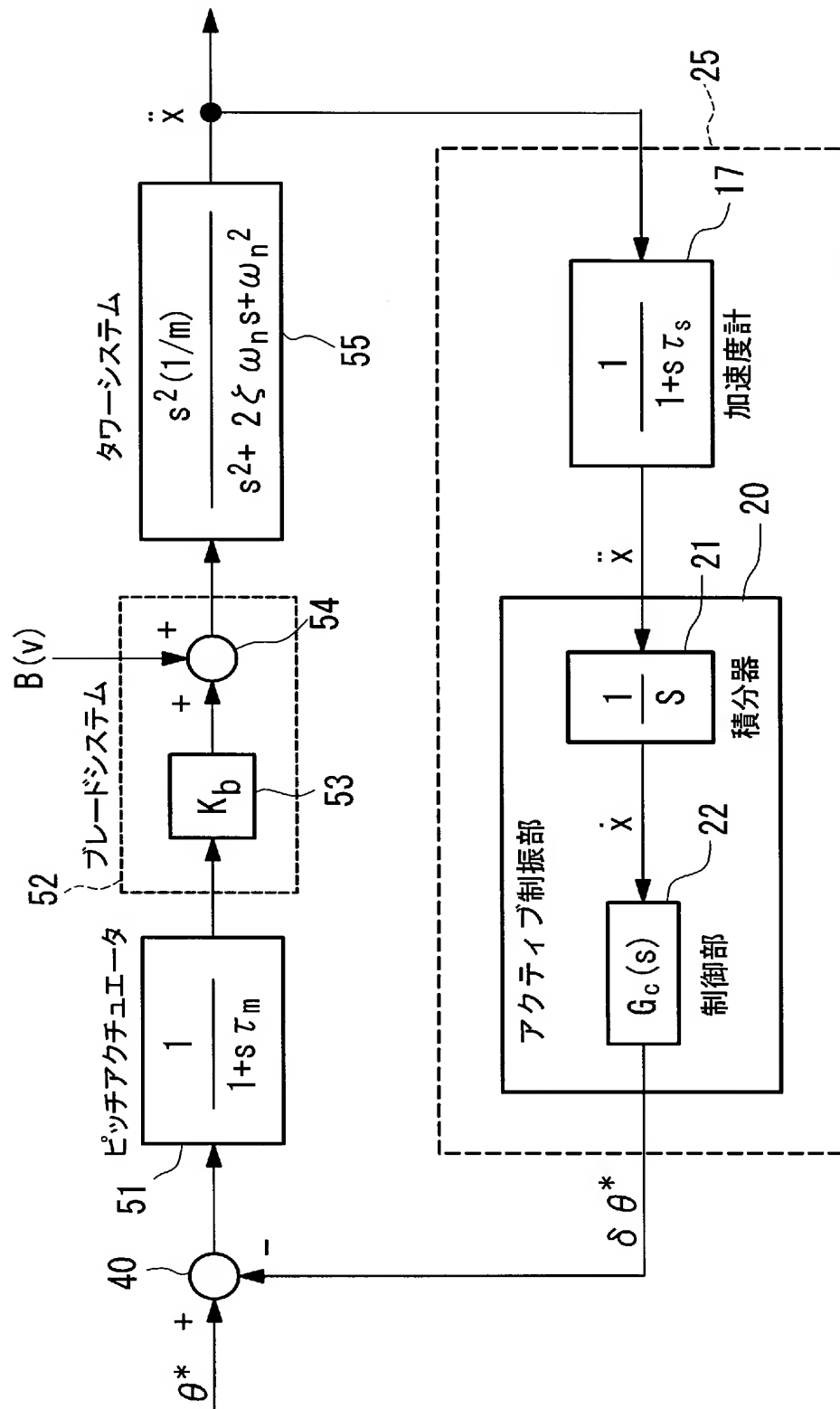
(a)



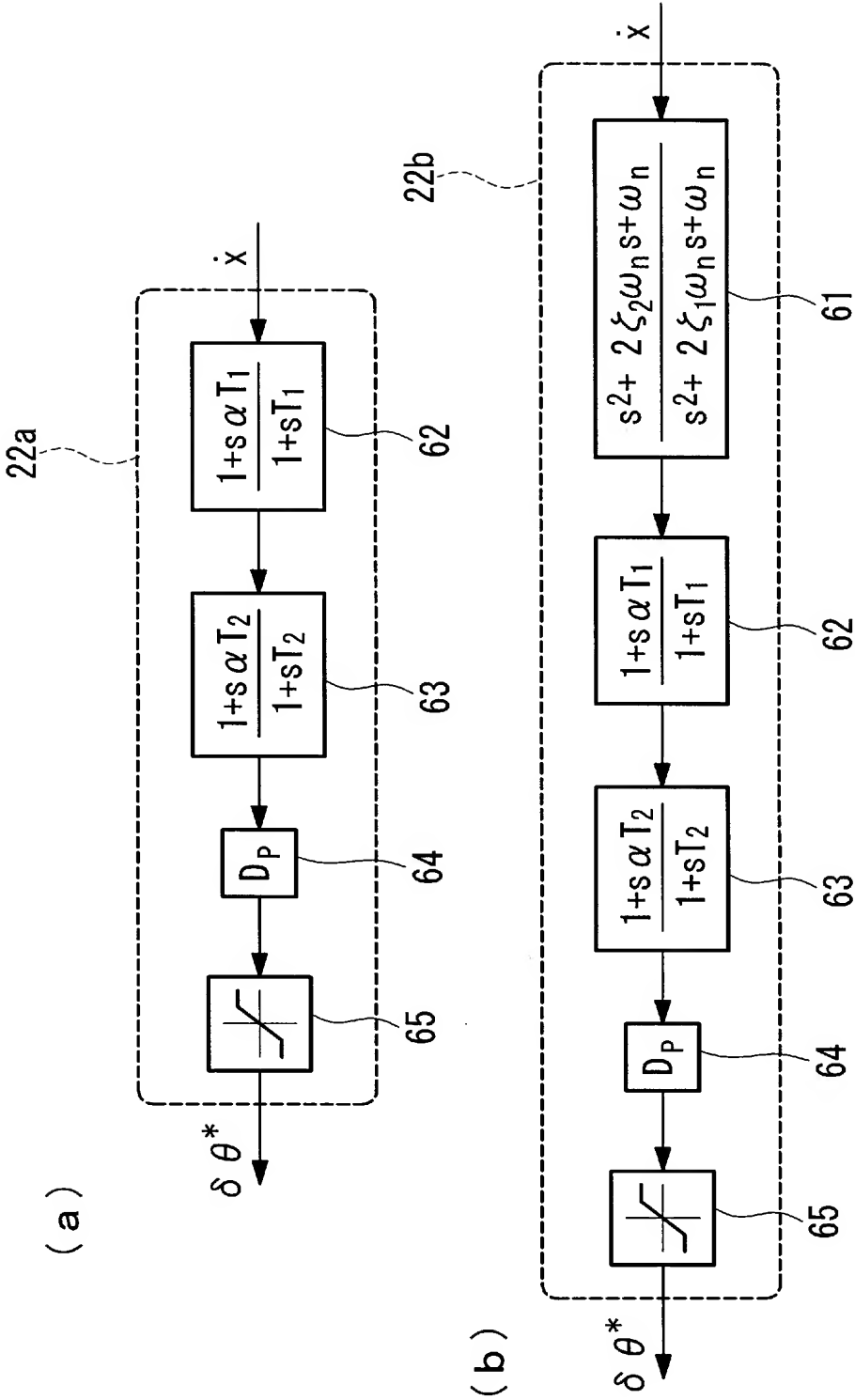
(b)



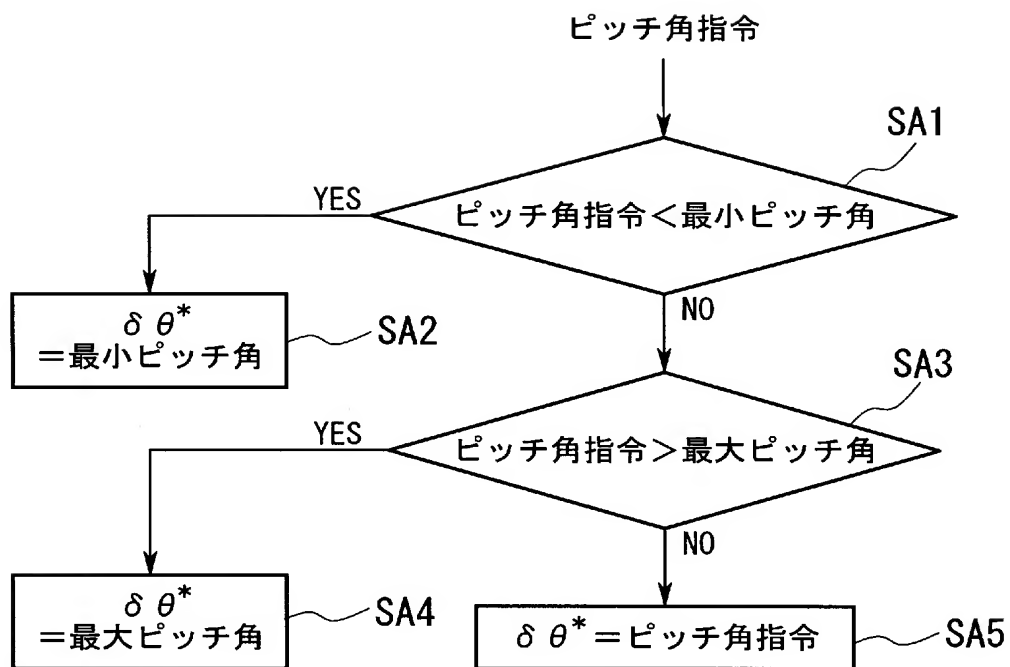
[図5]



[図6]

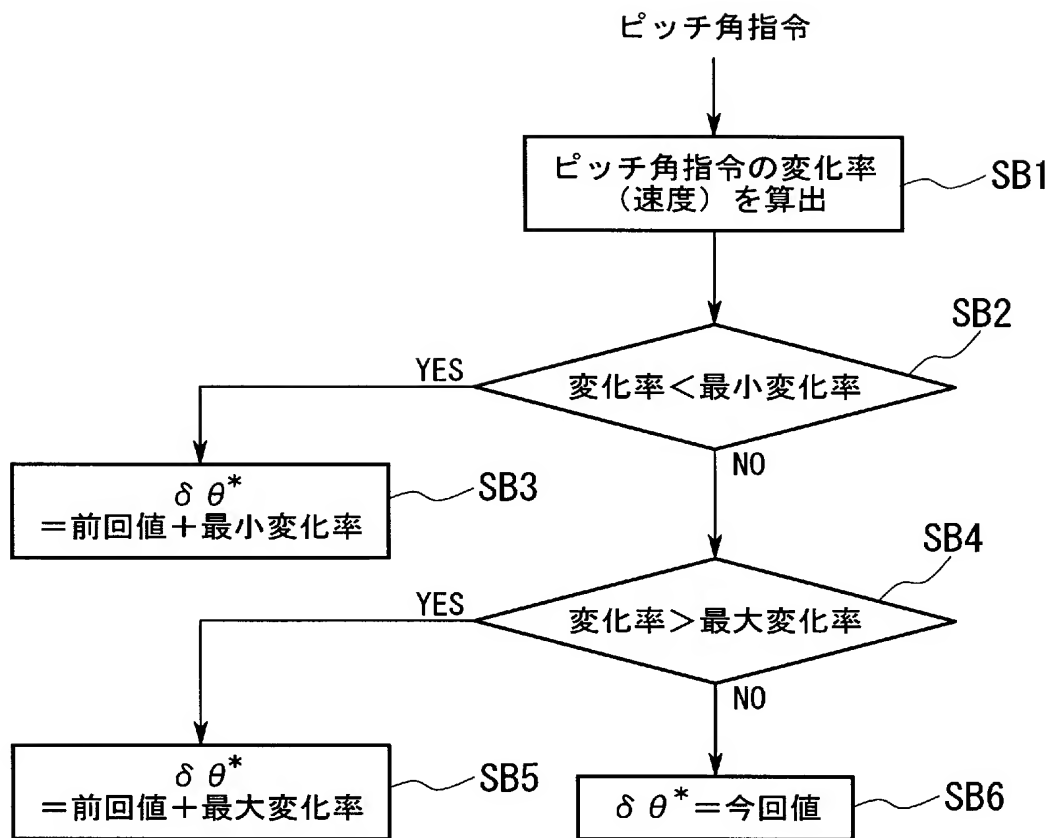


[図7]

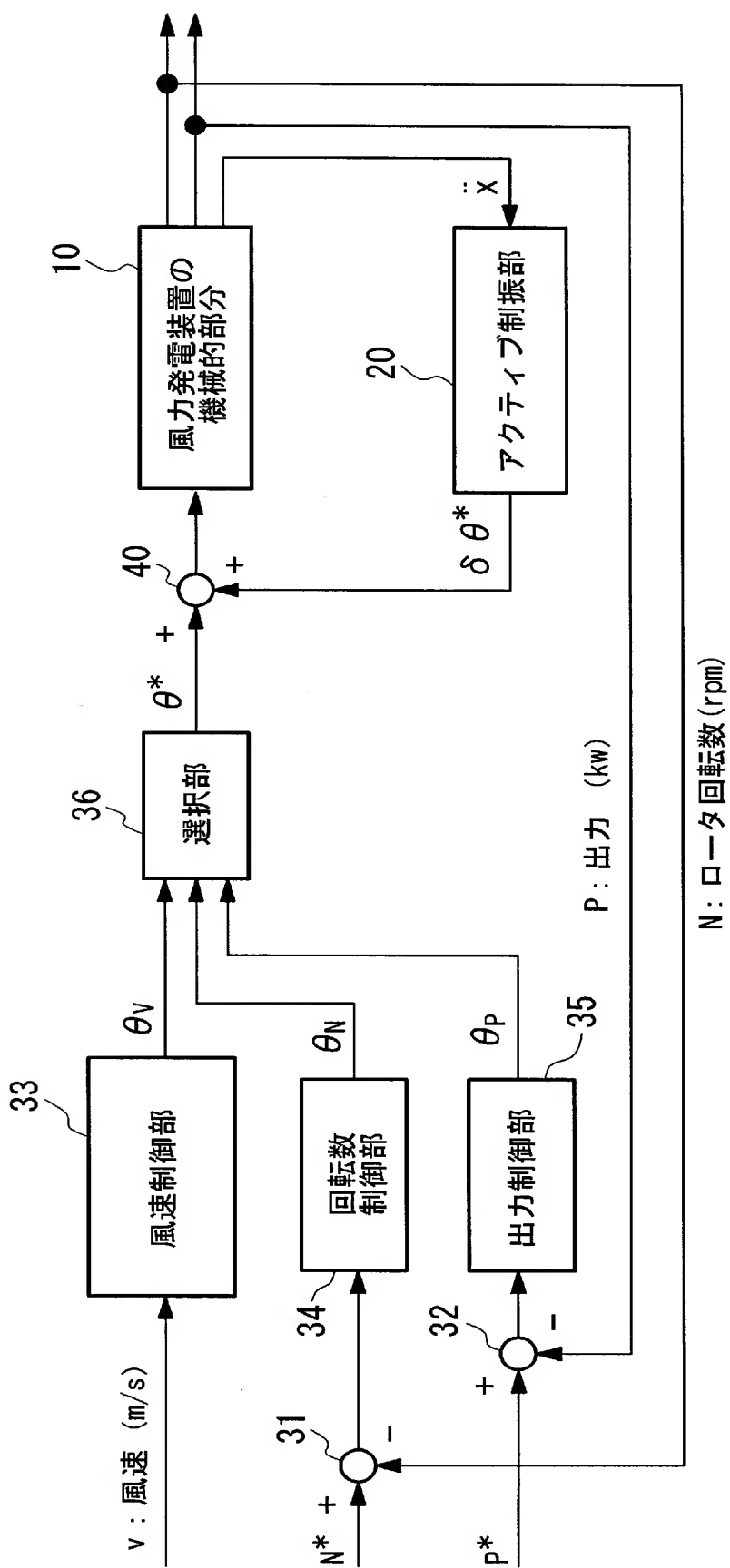




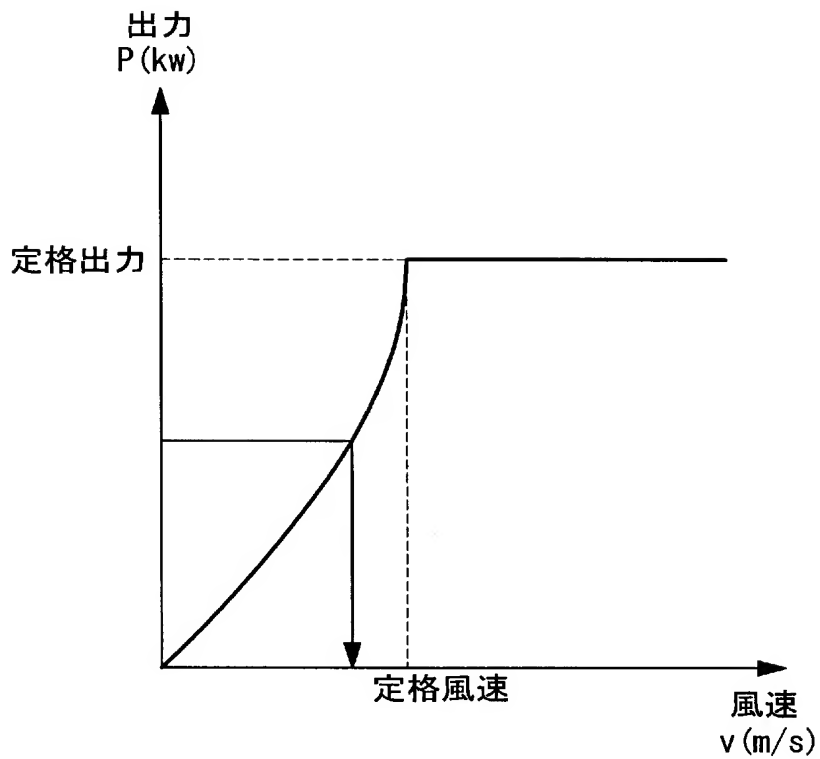
[図8]



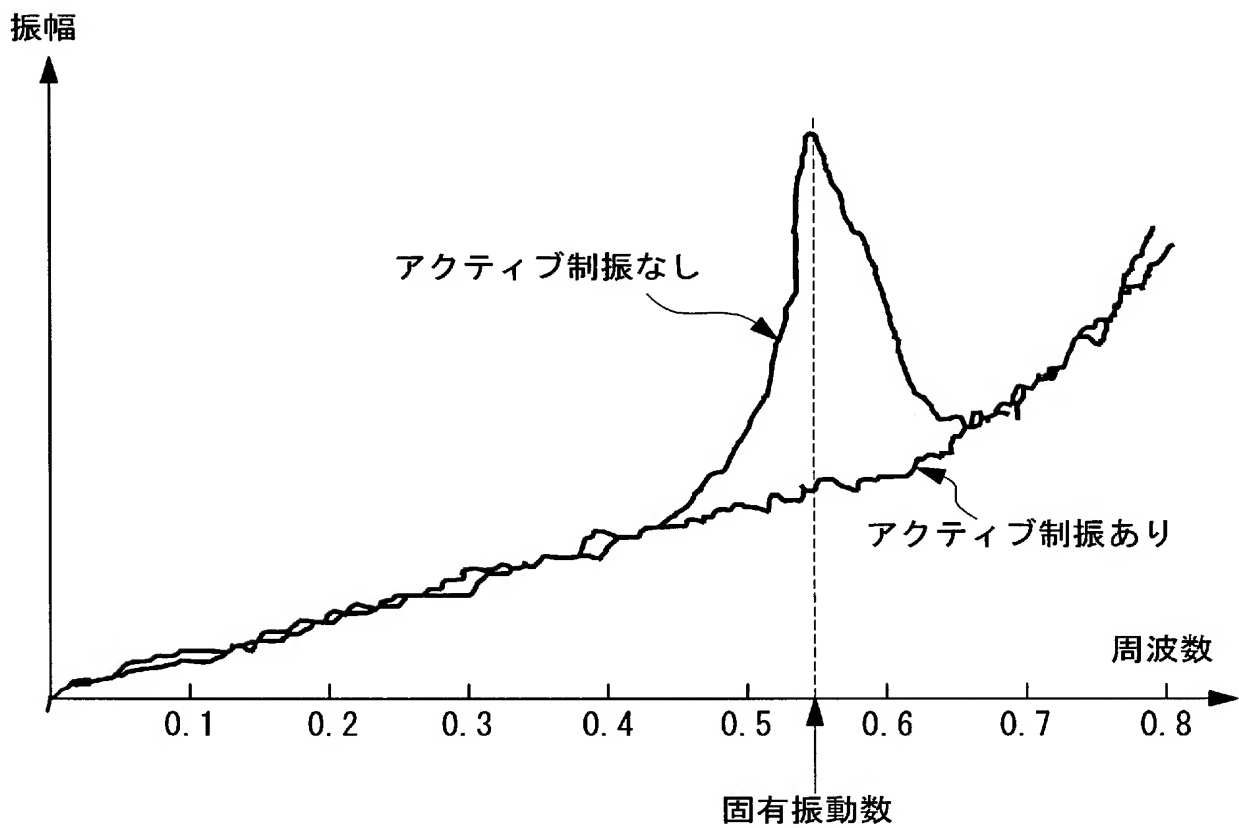
[図9]



[図10]



[図11]



# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2004/016851

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER  
Int.Cl<sup>7</sup> F03D7/04

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

## B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)  
Int.Cl<sup>7</sup> F03D1/00-11/04

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched  
Jitsuyo Shinan Koho 1922-1996 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-2005  
Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-2005 Jitsuyo Shinan Toroku Koho 1996-2005

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	JP 58-178885 A (United Technologies Corp.), 19 October, 1983 (19.10.83), Full text; Fig. 1 & US 4435647 A & DE 3308564 A1 & GB 2117934 A	1-17
Y	JP 2002-509222 A (DANCONTROL ENGINEERING A/S), 26 March, 2002 (26.03.02), Full text & WO 1999/036695 A1 & US 6525518 B1	1-17
A	JP 8-21128 A (Mitsubishi Heavy Industries, Ltd.), 23 January, 1996 (23.01.96), Full text (Family: none)	1-17

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:	"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance	"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date	"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)	"&" document member of the same patent family
"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means	
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed	

Date of the actual completion of the international search  
27 January, 2005 (27.01.05)

Date of mailing of the international search report  
15 February, 2005 (15.02.05)

Name and mailing address of the ISA/  
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**

International application No.

PCT/JP2004/016851

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2-80771 A (Hazama Corp.), 20 March, 1990 (20.03.90), Full text (Family: none)	1-17
A	JP 63-75263 A (Mitsubishi Heavy Industries, Ltd.), 05 April, 1988 (05.04.88), Full text (Family: none)	1-17

## A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl 7 F03D7/04

## B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl 7 F03D1/00-11/04

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報 1922-1996  
 日本国公開実用新案公報 1971-2005  
 日本国登録実用新案公報 1994-2005  
 日本国実用新案登録公報 1996-2005

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

## C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
X	J P 58-178885 A (ユニテッド・テクノロジー・ コーポレーション) 1983. 10. 19, 全文、第1図 & US 4435647 A & DE 3308564 A1 & GB 2117934 A	1-17
Y	J P 2002-509222 A (ダンコントロール エンジニ アリング アクティエールズカブ) 2002. 03. 26, 全文 & WO 1999/036695 A1 & US 6525518 B1	1-17

☒ C欄の続きにも文献が列挙されている。☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

## \* 引用文献のカテゴリー

「A」 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの  
 「E」 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの  
 「L」 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)  
 「O」 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献  
 「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの  
 「X」 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの  
 「Y」 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの  
 「&」 同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

27. 01. 2005

国際調査報告の発送日

15. 2. 2005

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/J P)  
 郵便番号100-8915

東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)

川口 真一

3 T

9822

電話番号 03-3581-1101 内線 3393

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
A	J P 8-21128 A (三菱重工業株式会社) 1996. 01. 23, 全文 (ファミリーなし)	1-17
A	J P 2-80771 A (株式会社間組) 1990. 03. 20, 全文 (ファミリーなし)	1-17
A	J P 63-75263 A (三菱重工業株式会社) 1988. 04. 05, 全文 (ファミリーなし)	1-17